



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**  
**DE 196 31 420 A 1**

②1 Aktenzeichen: 196 31 420.8  
②2 Anmeldetag: 6. 8. 96  
④3 Offenlegungstag: 19. 2. 98

⑤1 Int. Cl. 6:  
**G 02 F 1/15**  
C 03 C 27/12  
C 03 C 17/34  
E 04 B 2/88  
E 06 B 3/00  
B 60 J 1/00  
// E 06 B 3/66

DE 196 31 420 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
München . Rösler Anwaltskanzlei, 80689 München

⑦2 Erfinder:  
Wittwer, Volker, 79112 Freiburg, DE; Georg,  
Andreas, 79111 Freiburg, DE; Graf, Wolfgang, 79427  
Eschbach, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 40 572 A1  
DE 44 09 470 A1  
GB 22 95 241 A  
US 51 36 419  
US 48 87 890  
US 47 68 865  
US 45 05 538  
SPIE, IS 4, 1990, S. 518-538;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verglasungselement

⑤7 Beschrieben wird ein Verglasungselement für Gebäude-  
fassadenverkleidung oder Fenstersysteme, insbesondere für  
Fahrzeuge, Züge oder Flugzeuge, mit wenigstens zwei  
Scheiben, die einen Zwischenraum einschließen, und das  
auf wenigstens einer, dem Zwischenraum zugewandten  
Scheibenoberfläche einen Beschichtungsaufbau vorsieht,  
der eine auf einer Scheibenoberfläche aufgebrachte elek-  
trisch leitende, eine darauf aufgebrachte elektrochrome,  
eine darauf aufgebrachte ionenleitende sowie eine darauf  
aufgebrachte elektrokatalytische Schicht aufweist.  
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß innerhalb des  
Zwischenraumes über der elektrokatalytischen Schicht aus-  
schließlich ein Gas oder Gasgemisch vorgesehen ist.

*n Scl T*

DE 196 31 420 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 97 702 068/18.

9/27

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verglasungselement für Gebäudefassadenverkleidung oder Fenstersysteme insbesondere für Fahrzeuge, Züge oder Flugzeuge. Das Verglasungselement weist zwei Scheiben auf, die einen Zwischenraum einschließen. Auf wenigstens einer, dem Zwischenraum zugewandten Scheibenoberfläche ist ein Beschichtungsaufbau vorgesehen, der eine auf einer Scheibenoberfläche aufgebrachte elektrisch leitende, eine darauf aufgebrachte elektrochrome, eine darauf aufgebrachte ionenleitende sowie eine darauf aufgebrachte elektrokatalytische Schicht aufweist.

In vielen Bereichen, wie beispielsweise bei Gebäuden, Kraftfahrzeugen, Flugzeugen oder Zügen ist ein optisch schaltbares Verglasungselement, das die Sonneneinstrahlung zu regulieren vermag, wünschenswert. Optisch schaltbare Spiegel, schaltbare optische Bauelemente oder großflächige Display's sind weitere Beispiele für den Einsatz optisch schaltbarer Verglasungselemente.

Ein bekannter Aufbau eines optisch schaltbaren Bauelementes besteht aus einer transparenten Elektrode, einer elektrochromen Schicht, einem Ionenleiter, einer Gegenelektrode sowie einer weiteren transparenten Elektrodenschicht. Ein derartiger Aufbau findet sich beispielsweise in dem Artikel von S. K. Deb in Solar Energy Materials and Solar Cells, 1992.

Um die optische Transparenz derartiger elektrochromer Bauelemente zu verbessern, sind Vorschläge gemacht worden, die Gegenelektrodenschicht durch optische Materialien wie beispielsweise Wasser zu ersetzen. So ist seit den 70er Jahren ein Aufbau unter dem Namen "Deb-Zelle" bekannt, bei dem die Gegenelektrode dadurch eingespart wird, indem Wasser, das sich innerhalb der ionenleitenden Schicht befindet, durch die daran angelegte Spannung gespalten wird und mit den so gebildeten  $H^+$ -Ionen die elektrochrome Schicht eingefärbt wird. Siehe hierzu die Artikel von S. K. Deb in Proc. 24th electronic Components Conf. (IEEE Washington 1974, S. 11–14) sowie von C. B. Thomas, P. Lloyd, Microelectronics Vol. 7(3), S. 29–43 (1976).

Der in den vorstehend genannten Artikeln beschriebene Schichtaufbau besteht aus einer transparenten Elektrodenschicht, einer elektrochromen Schicht, einer wasserhaltigen Ionenleiterschicht und wie meistens bei derartigen Systemen einer dünnen Goldschicht. Das durch die Elektrolysewirkung aufgespaltene Wasser wird über die Goldschicht aus der Luft nachgeliefert. Der Wassergehalt innerhalb der ionenleitenden Schicht und die zur Aufspaltung des Wassers notwendigen, hohen elektrischen Spannungen führen jedoch zu einer geringen Stabilität des gesamten elektrochromen Elementes und beschränken sehr stark seine Lebensdauer. So besteht beispielsweise die Gefahr von chemischen Reaktionen innerhalb der Schichten, die den Schichtverbund zerstören können. Desweiteren ist das Schaltverhalten der bekannten elektrochromen Elemente stark von der Luftfeuchtigkeit abhängig.

Eine weitere elektrochromatische Anordnung geht aus der DE 24 36 174 A1 hervor und beschreibt eine Schichtanordnung, die insbesondere für Festkörper-Anzeigen dienen soll. Diese Schichtanordnung besteht aus einer transparenten Elektrode, die auf einem durchsichtigen Substrat aufgebracht ist. Auf der Elektroden-schicht ist eine elektrochrome Schicht aufgebracht, über der eine ionendurchlässige Isolatorschicht vorgesehen ist. Eine auf der ionendurchlässigen Isolatorschicht auf-

gebrachte elektrokatalytische Schicht bildet die Gegenelektrode zur transparenten Elektrodenschicht. Eine auf der elektrokatalytischen Schicht vorgesehene Schwammstruktur dient als Reservoir-Schicht für Atome und/oder Moleküle, die durch die vorherrschenden Potentialverhältnisse elektrolytisch dissoziiert werden, wobei die elektrisch geladenen Ionen je nach Potentialverhältnisse durch die ionendurchlässige Isolatorschicht in die elektrochrome Schicht hineinwandern bzw. aus ihr herausgetrieben werden. Auch in dieser Druckschrift wird vorgeschlagen, in der Schwammstruktur im wesentlichen Wasser einzubringen, das nach elektrolytischer Zersetzung  $H^+$ -Ionen liefert. Somit sind zu dieser Vorrichtung all jene Nachteile zu nennen, die vorstehend bereits in Verbindung mit der "Deb-Zelle" diskutiert worden sind.

Aufgabe der Erfindung ist ein Verglasungselement für Gebäudefassadenverkleidung oder Fenstersysteme, insbesondere für Fahrzeuge, Züge oder Flugzeuge, mit wenigstens zwei Scheiben, die einen Zwischenraum einschließen und auf wenigstens einer, dem Zwischenraum zugewandten Scheibenoberfläche einen Beschichtungsaufbau vorsieht, der eine auf einer Scheibenoberfläche aufgebrachte, elektrisch leitende, eine darauf aufgebrachte elektrochrome, eine darauf aufgebrachte ionenleitende sowie eine darauf aufgebrachte elektrokatalytische Schicht aufweist, derart weiterzubilden, so daß die mit der Verwendung von Wasser verbundenen Nachteile vermeidbar sind. Insbesondere sollten hohe Regelspannungen zum Ein- bzw. Entfärben der elektrochromen Schicht vermieden werden, wie sie beispielsweise für die Elektrolyse von Wasser in die Bestandteile erforderlich sind. Das Verglasungselement sollte möglichst optisch transparent ausgebildet sein, d. h. keine die optischen Transmissionseigenschaften nachträglich beeinflussenden Einzelschichten aufweisen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft ausbildende weitere Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß ist ein Verglasungselement für Gebäudefassadenverkleidung oder Fenstersysteme, insbesondere für Fahrzeuge, Züge oder Flugzeuge gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart ausgestaltet, daß innerhalb des Zwischenraumes über der elektrokatalytischen Schicht ein Gas oder Gasgemisch vorgesehen ist.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, auf jegliche Zwischenschichten zu verzichten, die die optischen Transmissionseigenschaften des erfindungsgemäßen Verglasungselementes beeinträchtigen. Anstatt der in der DE 24 36 174 A1 beschriebenen Schwammstruktur sieht die Erfindung ausschließlich eine Gasatmosphäre vor, die vorzugsweise aus einem Gemisch aus einem reduzierendem Gas, wie beispielsweise Wasserstoffgas und einem inerten Gas, wie beispielsweise Argon oder Stickstoff besteht. Ein wesentlicher Gesichtspunkt der Erfindung besteht darin, daß das elektrochrome Verglasungselement ohne die Verwendung von Wasser arbeitet. Es konnte gezeigt werden, daß das erfindungsgemäße System bei Spannungen deutlich unter der Spaltspannung von Wasser (1,2 V) arbeiten kann.

Auf diese Weise kann das Element bei niedrigeren Betriebsspannungen betrieben werden, so daß die Lebensdauer des Verglasungselementes erheblich gesteigert werden kann.

Das erfindungsgemäße Verglasungselement weist zwei Scheiben auf, die aus Glas oder Kunststoff gefertigt werden können.

tigt sein können. Auf wenigstens einer Scheibenoberfläche, die in den Zwischenraum der beiden sich gegenüberstehenden Scheiben orientiert ist, wird eine transparente, elektrisch leitende Schicht aufgebracht, auf die wiederum elektrochromes Material, wie beispielsweise Wolframdioxid, Molybdänoxid, Titanoxid, Vanadiumoxid, Chromoxid, Ceroxid oder Viologene abgeschieden ist. Auf der elektrochromen Materialschicht wird desweiteren ein Ionenleiter aufgebracht, der beispielsweise aus Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Tantaloxid oder einem Polymer besteht. Schließlich ist auf der ionenleitenden Schicht eine elektrokatalytische Schicht abgeschieden, auf der gegebenenfalls eine weitere Gridstruktur aufbringbar ist, die aus einem elektrisch leitendem Material besteht und transparente und wasserstoffpermeable Eigenschaften aufweist. Die Gridschicht wird insbesondere dann auf die elektrokatalytische Schicht aufgebracht, sofern bei großflächigen Systemen die elektrische Leitung der elektrokatalytischen Schicht zu gering dimensioniert ist. Alternativ kann z. B. auch über bzw. unter der Katalysatorschicht eine elektrisch leitende, transparente  $H_2$  bzw.  $H$  leitende Schicht aufgebracht werden.

Wie bereits erwähnt befindet sich über diesem Schichtaufbau eine Gasatmosphäre aus einem Gemisch aus einem reduzierendem Gas, wie beispielsweise Wasserstoffgas und einem inerten Gas, wie beispielsweise Argon oder Stickstoff. Geringe Beimischungen von Sauerstoffgas, wie sie mit der Zeit durch kleine Lecks auftreten könnten, stören die Funktion des Elementes nicht wesentlich. Sollte nach einer längeren Zeit zuviel Wasserstoffgas entweichen oder zuviel Sauerstoffgas in den Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben eindiffundiert sein, so ist ein Austausch der Gasatmosphäre möglich. Besonders zu beachten, daß die Konzentration des Wasserstoffgases deutlich unterhalb der Explosionsgrenze von Wasserstoff gehalten werden kann.

Eine weitere Variante ist die Verwendung oxidierender Gase bzw. Gasgemische, wie z. B. Luft, bei anodisch statt kathodisch elektrochromen Materialien wie z. B.  $NiO_x$  statt  $WO_3$ .

Die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verglasungselementes soll nachstehend beschrieben werden:

Bei dem zwischen den Glasscheiben eingebrachten Gasgemisch werden die  $H_2$ -Moleküle an der elektrokatalytischen Schicht absorbiert und an dieser Schicht katalytisch dissoziiert und ionisiert. Ebenfalls können durch Lecks in den Zwischenraum eingedrungene Sauerstoff-Moleküle durch die katalytische Wirkung dissoziiert und ionisiert werden. Wird eine Spannung an der elektrisch leitenden Schicht, die unmittelbar auf der Scheibenoberfläche aufgebracht worden ist, angelegt, so daß diese Schicht zur Kathode wird, so zieht das damit verbundene elektrische Feld  $H^+$ -Ionen durch den Ionenleiter in die Wolframoxidschicht. Aufgrund der entgegengesetzten Polarität der  $O^{2-}$ -Ionen gelangen diese nicht in die Schichtenfolge, in die die  $H^+$ -Ionen aufgrund der Potentialverhältnisse wandern. Zur gleichen Zeit wandern Elektronen von der transparenten ausgebildeten elektrisch leitenden Schicht in die elektrochrome Schicht und färben diese ein. Die Ladungsneutralität der elektrochromen Schicht bleibt durch das gleichzeitige Einwandern von  $H^+$ -Ionen und Elektronen gewährleistet.

Bei Abklemmen der Spannung bleibt das elektrische Feld aufgrund des durch die Einfärbung geänderten elektrochemischen Potentials der elektrochromen Schicht erhalten und ebenso die Einfärbung.

Wird hingegen die elektrisch leitende Schicht zur An-

ode, so werden die  $H^+$ -Ionen und die Elektronen wieder aus der elektrochromen Schicht abgezogen und es kommt zur Entfärbung.

Somit kann durch Anlegen einer Spannung zwischen der elektrisch leitenden, transparenten Schicht auf der Scheibe und der elektrokatalytischen Schicht die elektrochrome Schicht eingefärbt und bei Umpolen der Spannung wieder entfärbt werden. Je nach Einwirkungsdauer der angelegten Spannung ist die Ein- oder Entfärbung stufenlos regulierbar. Bei Abklemmen der Spannung bleibt wie obenstehend erwähnt der Färbzustand erhalten.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisierter Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels,

Fig. 2a, b Diagrammdarstellung der Transmission des Verglasungselementes bei unterschiedlichen Potentialverhältnissen.

Das in Fig. 1 dargestellte Verglasungselement weist zwei sich gegenüberliegende Glasscheiben  $G_1$  und  $G_2$  auf. Auf der unteren Glasscheibe  $G_1$  ist ein Schichtaufbau vorgesehen, der folgende Einzelschichten aufweist: eine elektrisch leitende, insbesondere optisch transparente Schicht 1, die als Elektrode dient; eine elektrochrome Schicht 2, die vorzugsweise aus Wolframoxid besteht; eine ionenleitende Schicht 3 auf der eine elektrokatalytische Schicht 4 aufgebracht ist. Die elektrokatalytische Schicht 4 dient als Gegenelektrode zur elektrisch leitenden Schicht 1. Zwischen der elektrokatalytischen Schicht 4 und der Glasscheibe  $G_1$  ist ein Gasgemisch  $G$  eingebracht, das vorzugsweise Wasserstoffgas enthält, so daß sich  $H_2$ -Moleküle durch Absorption an der elektrokatalytischen Schicht 4 bilden. Aufgrund der an der Elektroden-schicht 1 und 4 vorherrschenden Potentiale dissoziieren und ionisieren die Bestandteile des Wasserstoffgases und wandern im Falle eines negativen Potentials an der Elektroden-schicht 1 in die elektrochrome Schicht 2 hinein. Eine simultane folgende Elektronenwanderung von der Kathode 1 in die elektrochrome Schicht 2 verursachen die Einfärbung dieser Schicht und tragen gleichzeitig in Verbindung mit den vorhandenen  $H^+$ -Ionen zur Ladungsneutralität in dieser Schicht bei.

Dieser Einfärbvorgang kann durch Potentialwechsel an der elektrisch leitenden Schicht 1 umgekehrt werden.

Aus den Fig. 2a und 2b geht die Transmission in Prozent durch ein erfindungsgemäßes Verglasungselement gemäß Fig. 1 bei der Einfärbung (siehe Fig. 2a) und bei der Entfärbung (siehe hierzu Fig. 2b) hervor. Als elektrochromes Material wurde Wolframoxid, als Ionenleiter Tantaloxid und als Katalysatorschicht Platin aufgedampft. Die gemessenen und dargestellten 100 Prozent Transmissionswerte beziehen sich auf den ungefärbten Zustand. Aus dem Diagramm gemäß Fig. 2a ist das zeitliche Einfärbungsverhalten eines Verglasungselementes entnehmbar, an dessen elektrisch leitende Schicht 1 eine Spannung von  $-0,76$  Volt angelegt ist. Die Gasatmosphäre weist hierbei einen zweiprozentigen Wasserstoffgas-Anteil auf. Die untereinander dargestellten Transmissionskurven, die die Transmissionswerte in einem Wellenlängenbereich zwischen 400 und 1200 nm angeben, sind zeitlich nacheinander ermittelt worden. Die oberste Transmissionslinie erfolgt zum Zeitpunkt 0, an dem kein Potentialgefälle zwischen den Elektroden-schichten 1 und 4 vorherrschte. Anhand der untereinander dargestellten Transmissionskurven, die nach 6, 36, 90

und 170 Sekunden nach Anlegen des negativen Potentials an die Elektrode 1 erfaßt worden sind, kann der zeitliche Verlauf der spektralen Einfärbung des Verglasungselementes entnommen werden. Entsprechendes gilt für die Fig. 2b, an der der Entfärbungsprozeß in unterschiedlichen Zeitintervallen nach Anlegen einer positiven Spannung an der Elektrodenschicht 1 entnommen werden kann.

Der Schichtaufbau des Verglasungselementes kann mit unterschiedlichen Beschichtungsmethoden, wie beispielsweise Sputtern, CVD oder Sol-Gel-Verfahren hergestellt werden. Ebenso eignen sich DC-Magnetron gesputterte Wolframoxidschichten.

Grundsätzlich ist das Verglasungselement auch als schaltbarer Spiegel weiterzubilden, dessen Schichtaufbau insofern abzuändern ist, daß auf dem Substrat bzw. auf einer Scheibe, die nicht mehr transparent ausgebildet sein muß, eine elektrisch leitende Schicht, die reflektierend ist, aufgebracht wird. Falls die Scheibe bereits selbst elektrisch leitend und spiegelnd ausgebildet ist, kann diese Schicht weggelassen. Zur Reflexionsverminderung beim vorstehend genannten Schichtaufbau ist eine negative Spannung an die elektrisch leitende Schicht, die vorzugsweise unterhalb der elektrochromen Schicht angeordnet ist, anzulegen.

#### Patentansprüche

1. Verglasungselement für Gebäudefassadenverkleidung oder Fenstersysteme, insbesondere für Fahrzeuge, Züge oder Flugzeuge, mit wenigstens zwei Scheiben, die einen Zwischenraum einschließen und auf wenigstens einer, dem Zwischenraum zugewandten Scheibenoberfläche ein Beschichtungsaufbau vorsieht, der eine auf einer Scheibenoberfläche aufgetragene elektrisch leitende, eine darauf aufgetragene elektrochrome, eine darauf aufgetragene ionenleitende sowie eine darauf aufgetragene elektrokatalytische Schicht aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des Zwischenraumes über der elektrokatalytischen Schicht ausschließlich ein Gas oder Gasgemisch vorgesehen ist.
2. Verglasungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas oder Gasgemisch reduzierendes Gas, bspw. Wasserstoffgas, oder oxidierendes Gas enthält.
3. Verglasungselement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gasgemisch inertes Gas aufweist.
4. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß auf der elektrokatalytischen Schicht ein Grid-Struktur aus elektrisch leitendem, transparentem, wasserstoffdurchlässigen Material aufgebracht ist.
5. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der auf der Scheibenoberfläche aufgetragenen elektrisch leitenden Schicht und der elektrokatalytischen Schicht eine variierbare Spannung anlegbar ist.
6. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß an der elektrokatalytischen Schicht reduzierende Gasbestandteile adsorbieren und dissoziieren.
7. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrochrome Schicht Wolframoxid, Molybdänoxid, Titanoxid,

Vandiumoxid, Chromoxid, Ceroxid, Nickeloxid, Viologene und/oder Polyanilin aufweist.

8. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die ionenleitende Schicht Tantaloxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Polymerelektrolyte und/oder ionenleitende Folien aufweist.

9. Verglasungselement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ionenleitende Schicht elektrisch schlecht leitendes Wolframoxid, Molybdänoxid, Titanoxid, Vanadiumoxid, oder Ceroxid aufweist.

10. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrokatalytische Schicht aus weitgehend optisch transparentem Material besteht und Platin, Rhodium, Palladium, Gold und/oder Nickel aufweist.

11. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrochrome Schicht eine Schichtdicke zwischen 100 nm und 1000 nm aufweist.

12. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der freie Zwischenraum zwischen der elektrokatalytischen Schicht und der gegenüberliegenden Glasscheibe wasserfrei ist.

13. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas oder Gasgemisch innerhalb des Zwischenraumes austauschbar ist.

14. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Transmissionserhöhung der elektrochromen Schicht eine positive Spannung an die elektrisch leitende Schicht, die unmittelbar auf der Scheibenoberfläche aufgebracht ist, anlegbar ist.

15. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine low-e-Schicht zur Verringerung des k-Wertes mit einer im Infrarotbereich reflektierenden und einem im sichtbaren Bereich durchlässigen dünnen Schicht vorgesehen ist.

16. Verglasungselement nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die low-e-Schicht eine Silber- oder Halbleiterschicht ist.

17. Verglasungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheiben aus Glas und/oder aus einem Polymersubstrat und/oder einem metallischem Substrat bestehen.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

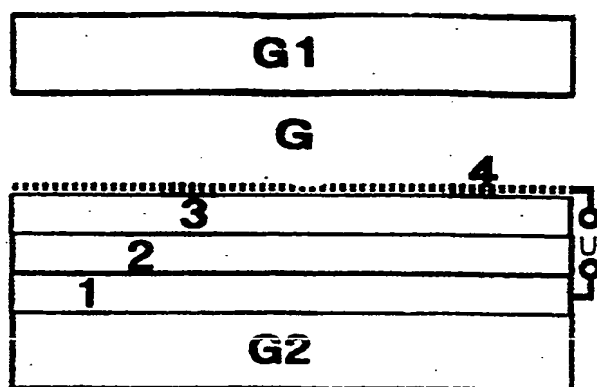
Kunsttransmissionsfaktor  
Wärmetransmissionsfaktor

Kann innen oder außen sein  
je nach dem welche  
Wirkung beabsichtigt → Raumheizung  
→ Raumkühlung

- Leerseite -

Graf

inter pane

**Fig. 1**